

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title FS SONNE Cruise Report SO195 - TOTAL	
4. author(s) (family name, first name(s)) Ingo Grevemeyer, Ernst R. Flüh & cruise participants	5. end of project June2010
	6. publication date December 2010
	7. form of publication Cruise Report
8. performing organization(s) (name, address) Leibniz Institute of Marine Sciences IFM-GEOMAR Wischhofstraße 1-3 24148 Kiel Germany	9. originator's report no. -
	10. reference no. 03G0195A
	11. no. of pages 262
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 160
	14. no. of tables 4
	15. no. of figures 140
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract In January and February of 2008 the research vessel <i>Sonne</i> surveyed during the cruise SO195 the Tonga subduction zone at its intersection with the subducting Louisville hotspot track. The project TOTAL (Tonga Thrust earthquake Asperity at Louisville Ridge) was an integrated geophysical approach to understand the physical nature of a seismic gap and hence potential seismogenic asperities that may cause a major future megathrust earthquake. In addition, the project investigated the interrelation between subduction erosion and seismic coupling. Major results are: <ol style="list-style-type: none"> 1.) The subducting Louisville seamounts are large loads on the lithosphere that cause deformation of the subducting plate. The wavelength of the deformation matches the size of the seismic gap. Further, the seamount are characterized by fast velocity material caused by intrusions and hence strong material. Thus, it is reasonable to suggest that the strong load and deformation cause the seismic gap. 2.) The seismic gap shows random distribution of small local earthquakes. However, the slip deficit indicated by globally detected earthquakes with magnitudes larger 4.5-5 is not compensated by numerous small magnitude local quakes. Thus, the 250 km by 60-80 km wide gap will cause a future great earthquake with a magnitude of 8-8.5 3.) The strong seamounts resist subduction and govern profound frontal erosion of the Tonga arc 4.) Seismic structure of the Tonga arc is different from continental crust and thus requires profound modification to be turned into future continental crust 	
19. keywords Western Pacific, Tonga trench, seamount subduction, subduction erosion, earthquakes, seismic gaps, seismic coupling, seismic hazards, seismic refraction ad wide-angle data	
20. publisher IFM-GEOMAR	21. price -

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Abschlussbericht
3. Titel FS SONNE Fahrtbericht SO195 - TOTAL	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Ingo Grevemeyer, Ernst R. Flüh & Fahrtteilnehmer	5. Abschlussdatum des Vorhabens Juni 2010
	6. Veröffentlichungsdatum Dezember 2010
	7. Form der Publikation Fahrtbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Leibniz Institut für Meereswissenschaften IFM-GEOMAR Wischhofstraße 1-3 24148 Kiel Germany	9. Ber. Nr. Durchführende Institution -
	10. Förderkennzeichen 03G0195A
	11. Seitenzahl 262
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 160
	14. Tabellen 4
	15. Abbildungen 140
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Während der Reise SO195 erforschte das Deutsche Forschungsschiff <i>Sonne</i> die Subduktionszone von Tonga im Bereich der Kollisionszone mit den Tiefseekuppen der Louisville Vulkankette. Das Projekt TOTAL (<u>T</u> onga <u>T</u> hrust earthquake <u>A</u> sperity at <u>L</u> ouisville Ridge) beinhaltet integrierte geophysikalische Arbeiten, um die Steuerungsmechanismen seismischer Lücken und das mit ihnen verbundene Gefahrenpotential zu untersuchen. Darüber hinaus hatte das Vorhaben das Ziel, die Beziehung zwischen frontaler Erosion und seismischer Kopplung zu erkunden. Hauptziele des Vorhabens sind: <ol style="list-style-type: none"> 1.) Die Tiefseekuppen der Louisville Vulkankette sind erhebliche Anomalien und Auflasten auf der Lithosphäre und erzeugen eine großräumige Deformation der in die Subduktionszone einfahrenden Platte. Die Wellenlänge der Deformation der Lithosphäre und die räumliche Dimension der seismischen Lücke haben die gleiche Größenordnung. Darüber hinaus ist die interne Struktur der Kuppen durch hohe seismische Geschwindigkeiten charakterisiert und zeigt somit auf, dass intrusive Gesteine den Aufbau der Kuppen dominieren. Es ist somit anzunehmen, dass die Tiefseekuppen und die durch sie verursachte Deformation der Lithosphäre die seismische Kopplung steuert. 2.) Innerhalb der seismischen Lücke sind lokale Erdbeben räumlich eher zufällig verteilt. D.h., das aus den global registrierten Erdbeben (M>4.5-5) abgeleitete Defizit an Verschiebungen in der Bruchzone wird nicht durch eine Vielzahl kleinster lokaler Erdbeben ausgeglichen. Aus diesem Grund ist damit zu rechnen, dass die 250 km lange und 60-80 km Breite seismische Lücken in der Zukunft ein Erdbeben mit der Magnitude 8-8.5 erzeugen wird. 3.) Der mechanisch-kompakte Aufbau der Tiefseekuppen steuert die frontale Erosion des Inselbogens 4.) Die seismische Struktur des Inselbogens weicht erheblich vom Aufbau kontinentaler Kruste ab. Ohne spätere signifikante Modifikation können Inselbögen somit nicht als „Brutstätten“ kontinentaler Kruste angesehen werden. 	
19. Schlagwörter Westpazifik, Tonga Tiefseeegraben, Subduktion von Tiefseevulkanen, Subduktionserosion, Erdbeben, Seismische Lücken, Seismische Kopplung, Seismische Gefahren, Refraktions- und Weitwinkelseismik	
20. Verlag IFM-GEOMAR	21. Preis -

Schlussbericht

1. Aufgabenstellung

Im Südwest Pazifik wird in der Subduktionszone von Tonga der neben der Hawaii Kette prominenteste Hotspot-Rücken subduziert: die Louisville Vulkankette. Ein besonderes Charakteristikum der Subduktion des Louisville Rückens ist eine markante seismische Lücke. Diese Lücke deutet darauf hin, dass der Inselbogen und die hereinkommende Platte miteinander gekoppelt sind und als potentielle Quellregion für ein großes bis sehr großes Überschiebungserdbeben angesehen werden kann. Besonders interessant ist, dass der gekoppelte Bereich („Asperity“) um ein vielfaches breiter ist als der typische Durchmesser der Kuppen der Louisville Kette. Das bedeutet, dass der Louisville Asperity nicht nur durch die Vulkankegel selbst definiert wird, sondern u.U. auch durch den die Vulkane umgebenden Schuttfächer und die Hotspotschwelle (bzw. der durch die Auflast der Vulkane elastisch deformieren Lithosphäre). Darüber hinaus zeigen geologische Hinweise, dass die Subduktion des Louisville Rückens zur Erosion des Inselbogens beiträgt. Inwieweit die Vulkankegel selber erodiert werden ist bislang wenig untersucht und verstanden.

Dieser Rahmen macht die Region zu einem idealen Untersuchungsgebiet um folgende Ziele durch seismische und seismologische Arbeiten zu verfolgen und Thesen zu testen:

A) Definition des „Asperity“ der seismischen Lücke im Bereich der Kollisionszone Louisville Kette mit dem Tonga Forearc

Subduktionszonen sind Regionen auf der Erdoberfläche, in denen die größte seismische Aktivität der Erde konzentriert ist. Vor allen die Überschiebungserdbeben in geringen Tiefen von 10-40 km sind eine Gefahr für die Menschen, welche die angrenzenden Küstenregionen bevölkern. Um die Größe (Energie) eines Erdbebens abzuschätzen, ist es wichtig die Größe der Herdfläche zu kennen, da sie neben dem Versatz entlang der Störung die steuernde Größe für die freigesetzte Energiemenge ist. Generell ist eine Störung jedoch nicht entlang ihrer gesamten Länge aktiv, sondern es sind immer nur sog. „Asperities“ betroffen. Ein besseres Verständnis über die Natur dieser Asperities ist ein wesentliches Ziel dieses Antrags. Ein nahezu ideales natürliches Laboratorium für entsprechende Untersuchungen stellt die Region dar, wo die Vulkankegel des Louisville Hotspot im Tonga Tiefseeegraben subduziert werden. In dieser als entkoppelt klassifizierten Subduktionszone befindet sich eine prominente Lücke in dem Auftreten von Erdbeben. Das bedeutet, dass die abtauchende Platte und der Forearcblock miteinander gekoppelt sind. Diese Lücke ist jedoch deutlich größer als die subduzierenden Tiefseevulkane. Offensichtlich sind neben der Morphologie der Kuppen andere Strukturen oder Kräfte für die seismogene Kopplung verantwortlich (Hotspotschwelle?, Underplating?, Flexur der Platte durch die Auflast der Guyots?, u.a.). Diese sollen hier definiert werden. Durch die Abwesenheit von Sedimenten im Tiefseeegraben kann vor allem davon ausgegangen werden, dass die Interaktion nur durch die Struktur der Kruste und nicht durch die Sedimenteigenschaften in der Kopplungszone gesteuert werden.

B) Aufbau der Louisville Kette und Louisville Hotspot Schwelle / mechanische Eigenschaften von Guyots

Die Menge der über Hotspots generierten Magmen und die Form ihrer Addition zur Lithosphäre sind von fundamentaler Wichtigkeit für unser Verständnis von Hotspotprozessen. Magmen können entweder durch die Vulkankegel eruptieren und an der Oberfläche ausfließen, sie können während ihres Aufstiegs in der Kruste stecken bleiben, oder aber sie formen Intrusionskomplexe an der Basis der Kruste („underplating“). Tiefenseismische Studien haben die Möglichkeit, zwischen diesen Strukturen zu unterscheiden, da sie durch signifikant unterschiedliche seismische Geschwindigkeiten charakterisiert sind. Es ist seit langem bekannt, dass sog. Intraplattenvulkane – wie z.B. die Hawaii Inseln – auf einer regionalen Erhebung des Tiefseebodens sitzen – der sog. Hotspotschwelle. Im der Tonga Subduktionszone scheinen sowohl die Vulkankegel als auch diese Schwelle für das Auftreten der seismische Lücke verantwortlich zu sein. Eine detaillierte Untersuchung des Aufbaus der Louisville Vulkane und der Schwelle (thermisch bedingt oder durch die elastische Deformation der

Lithosphäre, oder durch Underplating?) ist notwendig, um die Einflussnahme unterschiedliche Komponenten der Louisville Kette auf die Erdbebenprozesse (Asperities) und die Erosion des Inselbogens zu evaluieren.

C) Interaktion zwischen Tonga Inselbogen und Louisville Rücken – Erosion des Inselbogen oder Erosion der Vulkankegel?

Durch das Einfahren des Louisville Rückens wird der Inselbogen von Tonga an seiner Basis frontal erodiert. Dieser Prozess verändert die Morphologie und die interne Struktur des Forearcs. Die Arbeiten sollen dazu beitragen, die Mechanik und Widerstandsfähigkeit des Inselbogens zu erkunden. Darüber hinaus stellt die Subduktion eines Guyots eine Form eines geotechnischen Großversuchs zur Mechanik der Vulkane dar. Seismische Messungen sollen die Struktur und den Aufbau der Guyots vor und nach dem einfahren in die Subduktionszone abbilden und somit erkunden inwieweit Tiefseekuppen intakt subduziert werden, bzw. erkunden, welcher Anteil abgetragen wird. Auch diese Untersuchungen stehen im direkten Zusammenhang zur seismischen Kopplung.

2.) Voraussetzungen

Die für das Vorhaben notwendigen seismischen und gravimetrischen Daten wurden auf der Reise SO195 gewonnen, wobei ein Netzwerk von Ozean-Boden-Seismometern (OBS) zur Überwachung der lokalen Erdbebenaktivität bereits 6 Monate vor der SO195 im Rahmen der Reise SO194 ausgelegt wurden.

3.) Planung und Ablauf

Die Arbeiten des Vorhabens TOTAL begannen mit der Auslage eines seismischen Netzwerks von 23 Langzeit-OBS auf der Reise SO194. Darüber hinaus wurden auf der SO194 ca. 2100 Profilkilometer an EM120 Echolotdaten im TOTAL-Arbeitsgebiet registriert. Auf der Reise SO195 wurden weitere 4500 Profilkilometer EM120 Echolotdaten, 1600 Profilkilometer Magnetik-Daten sowie ca. 2200 Profilkilometer Gravimetrie-Daten gewonnen.

Neben der Bergung der Langzeit-OBS lag der Arbeitsschwerpunkt auf der SO195 in der Gewinnung von 930 Profilkilometern an refraktions- und weitwinkelseismischer Daten entlang von 3 Profilen; P01 sollte die Geschwindigkeitsstruktur im Bereich des seismischen Netzwerks abbilden, P02 die Struktur des Inselbogens und der Subduktionszone und P03 die Struktur der in die Subduktionszone einfahrenden Louisville Vulkankette. Insgesamt wurden Daten guter bis sehr guter Qualität von OBH- und OBS-Stationen gewonnen und bearbeitet und für die 2D Laufzeitmodellierung und 2D tomographischen Inversion herangezogen.

Das seismologische Langzeitnetzwerk zeichnete über 1400 lokalisierbare seismische Ereignisse auf, wobei ca. 300 Erdbeben innerhalb des Netzwerks aus 23 OBS stattfanden.

4.) Wissenschaftlich-technischer Stand

Der wissenschaftlich-technische Stand wurde im Antrag zu dem Vorhaben ausführlich beschrieben.

5.) Zusammenarbeit

Während der Laufzeit des Projekts gab es eine stetige und fruchtbare Zusammenarbeit mit den Projektpartnern der Universität Bremen (Prof. H. Villinger) sowie den Ausländischen Partnern der Universität Oxford (Prof. A.B. Watts) und Universität Durham (Prof. C. Peirce). Die Zusammenarbeit war hervorragend und wird auch über die Projektlaufzeit hinaus fortgesetzt.

6. Wissenschaftliche-technische Ergebnisse

Seismische Lücken abgeleitet aus globalen Daten können zwei Ursachen haben: (i) die Spannungen in der Lücke werden durch zahlreiche kleinere Erdbeben abgebaut, welche unterhalb der Detektionsschwelle globaler Netzwerke liegen, oder (ii) die Lücke stellt eine Region extremer Kopplung zwischen Ober- und Unterplatte dar, so dass sich Spannungen kontinuierlich akkumulieren und in Zukunft ein katastrophales Erdbeben bedingen. Im ersten Fall sollte ein lokales Netzwerk eine erhöhte seismische Aktivität in der Lücke beobachten, während im zweiten Fall die Seismizität gleichverteilt oder geringer sein sollte. Generell zeigt sich, dass die Region der seismischen Lücke nicht durch eine erhöhte seismische Aktivität mit Erdbeben kleiner Magnitude charakterisiert ist. Die seismische Lücke stellt somit eine Region erhöhter Kopplung dar. Die aus den verfügbaren Daten abgeleitete Größe der seismischen Lücke von 12.000-20.000 km² deutet auf ein zukünftiges Erdbeben mit einer Magnitude von Mw=8-8.5 hin.

Die im Netzwerk auftretenden lokalen Erdbeben sind räumlich und zeitlich nicht gleichverteilt, sondern ca. 2/3 der registrierten Beben gehört zu Erdbeben-Sequenzen oder Clustern, die i.allg. durch ein größeres Hauptbeben eingeleitet werden und zwischen 12 und 30 Nachbeben zeigen. Zu diesen Clustern gehören auch 12 global registrierte Erdbeben. Die Missweisung in der durch das USGS gegebene Herdlokation liegt bei 30 bis 60 km in E-W Richtung.

Zwei seismische Profile des Vorhabens untersuchten unterschiedliche tektonische Regime in Schlüsselregionen. Ein Profil verlief parallel zum Tiefseegraben entlang der elastischen Aufwölbung der abtauchenden Lithosphäre und kreuzt die Hotspotspur des Louisville Rückens. Insgesamt 35 Geräte wurden entlang einer 370 km langen Linie ausgelegt. Die Datenqualität ist exzellent. Die meisten Stationen zeigen Einsätze in Entfernungen von 100 km; Stationen am Südlichen Profilende zeigen seismische Signale in über 200 km Entfernung. Ziel der Arbeiten war es, die Krustenstruktur des Louisville Rückens abzubilden. Die Korrelation der Lage der seismischen Lücke mit den abtauchenden Louisville Kuppen deutet darauf hin, dass die Struktur der abtauchenden Guyots die seismogene Kopplung steuert. Die gemeinschaftliche tomographische Inversion von weitwinkel- und refraktionsseismischen Daten sowie Schwerefeldmessungen zeigt, dass die Tiefseekuppen durch sehr hohe Geschwindigkeiten in ihrem Inneren charakterisiert sind. Diese Geschwindigkeiten deuten auf sehr kompetentes Gestein hin, welches sich möglicherweise der Subduktion widersetzt und somit zu einer effektiven Kopplung von Ober- und Unterplatte führt. Diese Interpretation stützt die Ergebnisse der seismologischen Messungen.

Ein weiteres Profil bildete die Subduktionszone nördlich des Louisville Rückens ab und liegt in einer Region, die durch sehr hohe Raten tektonischer Erosion charakterisiert ist. Darüber hinaus sollte die Linie die Struktur des Inselbogens von Tonga abbilden. Entlang des 400 km langen Profils wurden insgesamt 40 OBS und OBH in Wassertiefen von < 1000 m bis 8000 m ausgelegt. Die Datenqualität ist exzellent. Die meisten Stationen konnten seismische Phasen bis in Entfernungen von 80-120 km registrieren. Der Inselbogen hat eine maximale Mächtigkeit von ca. 18 km. Generell wird die Kruste von Inselbögen als eine Vorstufe zur kontinentalen Kruste angesehen. Ähnlich wie im Falle der Inselbögen von Izu-Bonin und Marianen sind die Geschwindigkeiten in der Kruste deutlich höher als in kontinentaler Kruste und deuten auf eine Unterkruste aus gabbroiden Gesteinen hin. Die Geschwindigkeit im Mantelkeil ist mit ~7.4 km/s sehr gering und deutet auf eine starke Hydrierung hin. Vergleichbare Ergebnisse wurden auch in der Marianen Subduktionszone erzielt.

Die wissenschaftlich-technischen Ergebnisse sind bislang in eine Publikation eingeflossen. Zwei weitere Publikationen sind in Vorbereitung, wobei die Auswertung aller Daten vollständig abgeschlossen ist und anhand von Abbildungen und Kurzfassungen im Anhang dargelegt werden. Desweiteren wurden im Rahmen des Vorhabens eine Diplom-Arbeit an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und eine Master-Arbeit an Universität Oxford angefertigt.